

円すい形インボリュート歯車の加工法とその応用に関する研究

著者	三留 謙一
号	974
発行年	1987
URL	http://hdl.handle.net/10097/11923

氏 名 三 留 謙 一

授 与 学 位 工 学 博 士

学位授与年月日 昭和 63 年 3 月 11 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 5 条第 2 項

最 終 学 歴 昭和 38 年 3 月

山形大学工学部機械工学科卒業

学 位 論 文 題 目 円すい形インボリュート歯車の加工法とその応用に関する研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 渡邊 眞 東北大学教授 加藤 正名
東北大学教授 江村 超 東北大学助教授 島地 重幸

論 文 内 容 要 旨

緒 論

円すい形インボリュート歯車は、その外形が円すい形をしているインボリュート歯車である。この歯車は、始めイギリスの Merritt により、Conical Involute Gear⁽¹⁾ として提案された。この名称は、この歯車の歯先面および歯底面がそれぞれ円すい面上にあること、およびその歯面がインボリュートヘリコイドであることから、与えられたものと思われる。

その後この種の歯車は、Beveloid Gear、可変背隙歯車、テーパギヤなどの名称で研究され、この歯車の持つ潜在的な能力と使用可能な用途が明らかにされてきた^{(2)~(9)}。

円すい形インボリュート歯車は、次のような利点を持っている。

- (1) この歯車は他の円すい形インボリュート歯車とかみあうだけでなく、平歯車、はすば歯車、ラックおよびウォームともかみあうことができる。
- (2) この歯車を用いた一對の歯車は、平行軸歯車や交差軸歯車としてだけでなく、食い違い軸歯車としても使用でき、広い用途が期待できる。
- (3) 歯車を軸方向に移動させるだけでバックラッシュを調整できる。
- (4) 交差軸歯車として使用する場合、軸角 δ は 0° から 90° の範囲で任意にとれる。この場合、二つの歯車の基準円すいの頂点が一致する必要はなく、またこれらの頂点が二つの歯車軸の交点にある必要もない。さらに、この歯車は、かさ歯車が対応できない、小さな軸角を持つ二軸間に回転

運動を伝えるのに適している。

(5) 食い違い軸歯車として使用する場合、軸角 Δ 、オフセット E 、および歯車の軸方向組み立て距離 J_1, J_2 を与えれば、これらを満足する一對の歯車を設計できる。

(6) 交差軸用あるいは食い違い軸用として設計された一對のこの歯車は、組み立て諸元 Δ, E, J_1 および J_2 の誤差があっても、理論的に正しくかみ合うことができる。

(7) インボリュートピニオンカッタの近似カッタ歯面は、この歯車の歯面と見做すことができるので、このカッタの設計・製作にはこの歯車の設計・製作法を適用できる。

このような有用性にもかかわらず、これまでこの歯車は、平行軸におけるバックラッシュ調整用歯車、トラックミッションのクラッチ、自動車のステアリング軸、ブルトーザのキャタピラ軸、テーパスプライン、テーパセレーション、およびマリンギヤのプロペラへの回転伝達用歯車として使用されている程度である。

これらの使用例は、円すい角がごく小さい場合に限られており、また二軸間に回転運動を伝えるという歯車本来の使用例は多くはない、このように、この歯車の潜在的能力から鑑みると、上記の使用例は使用可能な用途のうちのほんの一部であり、これまではこの歯車の本来の能力を十分に生かしきることができなかった。

その最大の理由は、この歯車の歯切り法と研削法が開発されず、製作したい歯車を、自由に製作できなかったためである。事実、上記の使用例の場合も、歯車は、その都度、試行錯誤的に製作されてきた。

ゆえに、歯切り法と研削法を開発し、高精度で安定した製作法を確立することが、この歯車を本格的に実用化してその能力を十分に生かす鍵なのである。

そこで、本論文では、歯切り法と研削法からなる、この歯車の加工法を開発することを主たる目的とした。まずはじめに、ラックの諸元とラックによって創成された歯車の諸元の相互関係を求めた。そして歯車形状の設計法を確立した。ついで実用的なホブ切り法と研削法を開発して、図1に示したこの歯車の設計・製作システムを確立した。最後に、この設計・製作システムの応用として、インボリュートピニオンカッタの新しくかつ簡易な設計・製作システムを開発した。以下各章の主要な内容を述べる。

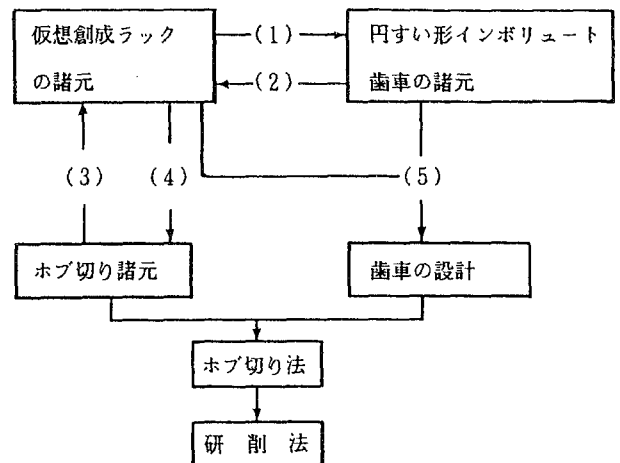


図1 円すい形インボリュート歯車の設計・製作システム

第1章 円すい形インボリュート歯車の基礎理論

本章では、まず仮想創成ラック、円すい形インボリュート歯車、およびこの歯車の基本諸元を定義した。つぎに仮想創成ラックによって創成される円すい形インボリュート歯車の歯面について述べた。そして図1の(1)および(2)で示したラックの諸元と歯車の相互関係を明らかにした。すなわち、はじめにラック諸元を与えて、このラックによって創成される歯車の諸元を求めた。ついで歯車諸元を与えて、逆にこの歯車を創成するラック諸元を決定する方法を見出した。

第2章 円すい形インボリュート歯車の設計法

本章では、図1の(5)によって示したこの歯車の形状設計について述べた。この歯車では転位係数が軸方向に直線的に変化しているので、歯車の小径部では切り下げが起きやすく、その大径部では歯先が尖りやすい。それゆえ、歯車の軸方向歯幅は、切り下げ限界および歯先尖りやすい。それゆえ、歯車の軸方向歯幅は、切り下げ限界および歯先尖り限界の二つの軸直角平面の間に、設定する必要がある。

そこで、この条件に基づき、基本諸元を与えれば歯車の形状を決定できるすぐばおよびはすば円すい形インボリュート歯車の、一般的設計法を提示した。そして、任意の円すい形インボリュート歯車を自由に設計できることを示した。

第3章 円すい形インボリュート歯車の傾斜素材軸ホブ切り法

傾斜素材軸ホブ切り法は、素材軸をホブ軸の移動方向に対して傾斜させて取り付け、歯車をホブ切りする方法であって、ホブ切り円すい角 δ_h は素材軸のホブ軸の移動方向に対する傾斜角として設定される。使用するホブは円筒ホブである。本章では、図1の(3)と(4)によって示したホブ切り諸元と仮想創成ラックの諸元の相互関係を明らかにした。

はじめに、一般ホブ切り理論を拡張して、このホブ切りの創成原理を解明した。このホブ切り法によって歯切りされた一つの歯車においては、厳密には全ての歯みぞ面がそれぞれわずかに異なっている。しかし、ホブ盤のテーブルの回転数を i 、テーブル1回転毎のホブの垂直送りを f 、歯車の歯幅を B として、 $f \cdot i = B$ を満足しながら $f \rightarrow 0$ 、 $i \rightarrow \infty$ の条件で歯切りするときは、すべての歯みぞ面が同一となる。そこで、この条件で歯切りされた歯車を理想歯車と定義した。そしてこの理想歯車を歯切りしているときに実現される仮想ラック、すなわち、理想歯車を創成するとみなされるラックを仮想創成ラックと定義し、これを求めた。さらにこのラックの諸元を、ホブ切り諸元の関数として表現した。

つぎに、正しいホブ取り付け角を決定し、その歯直角歯形が基準ラック歯形に一致する仮想創成ラックを求めた。

最後に、このホブ切り法を実現できるように通常のホブ盤を改造して、歯車を実際に歯切りした。そして歯切りした歯車を、理想歯車すなわち上記の仮想創成ラックによって創成された歯車と仮定して、その歯形誤差と歯すじ方向誤差を測定し、この仮定の妥当性を確認した。

第4章 円すい形インボリュート歯車のテーブル移動ホブ切り法

いまホブの垂直送り速度ベクトルを v_f ，テーブルの水平送り速度ベクトルを v_r ，ホブ切り円すい角を δ_h とする。テーブル移動ホブ切り法は v_f と v_r を同時に与えて歯車をホブ切りする方法であって， $\tan \delta = |v_r| / |v_f|$ によって δ_h を設定している。使用するホブは円筒ホブである。本章でも，図1の(3)と(4)によって示したホブ切り諸元と仮想創成ラックの諸元の相互関係を明らかにした。

はじめに，本ホブ切り法の創成原理を解析した。その結果，第3章の傾斜素材軸ホブ切り法の場合と同じ考えかたに基づいて理想歯車を定義した。そして，この理想歯車を創成する仮想創成ラックを求め，このラックの諸元をホブ切り諸元によって表した。また，正しいホブ取り付け角を決定しその歯車の直角歯形が基準ラック歯形に一致する仮想創成ラックを求めた。

つぎにこのホブ切り法を実現できるように通常のホブ盤を改造して，歯車を実際に歯切りした。そして歯切りした歯車を，理想歯車すなわち上記の仮想創成ラックによって創成された歯車と仮定して，その歯形誤差および歯すじ方向誤差を測定し，この仮定の妥当性を確認した。

最後に，テーブル移動ホブ切り法を傾斜素材軸ホブ切り法と比較し，両者の関係を明らかにした。

第5章 円すい形インボリュート歯車の研削歩

円すい形インボリュート歯車の研削は，これまでほとんど試みられていない。そこで本章では，仮想創成ラックによる円すい形インボリュート歯車の創成原理および円すい形インボリュート歯車のホブ切り理論に基づいて，

- (1) ナイルスタイブテーパ研削法
- (2) 傾斜素材軸テーパ研削法
- (3) テーブル移動テーパ研削法

の三つの研削法を提示した。

本章では，これらの研削法の原理を示すと共に，各研削法を実現できるように従来の歯車研削盤を改造し，実際に歯車を研削実験することによって，各方法の特色を明らかにした。

第6章 円すい形インボリュート歯車の設計・製作システムへの応用

インボリュートピニオンカッタの新しい

設計・製作システム

本章では，インボリュートピニオンカッタを円すい形インボリュート歯車として扱う。そして前章までに確立したこの歯車の設計・製作システムを応用して，インボリュートピニオンカッタの新しくかつ簡易な設計製作システムを開発した。この新しいシステムを図2に示す。

第一に，ピニオンカッタの主歯面および面取り用歯面を創成するラックを設計する。本システムによれば，はじめにピニオンカッタの設計諸元として，被削歯車1の諸元，およびカッタ左右の歯面の側逃げ角 ε_r ， ε_ℓ ，すくい角 γ ，歯付き角 σ を与えると，円すい形インボリュート歯車としてのピニオンカッタの諸元が決まる。すなわち，近似カッタ歯面の4つのインボリュートヘリコイドが

決定する。この結果、円すい形インボリュート歯車の設計・製作システムに従って、近似カッタ歯面を構成する4つのインボリュートヘリコイドを同時に創成できるラックを設計できる。円筒ホブはこのラックの歯直角歯形に基づいて設計し、ホブ切り諸元および研削諸元は、このラックを実現するように設定した。

つぎにピニオンカッタの形状の設計法としては、通常の設計法を提示した。これは、前逃げ角を θ 、ラック創成円すい角を δ とすると、 $\theta = \delta$ が成立するように $\varepsilon, \varepsilon, \gamma, \sigma$ を見出してカッタを設計する方法である。

最後にピニオンカッタを実際に試作し、かつこれらのカッタで歯切り実験して、この設計・製作システムの有用性を確認した。

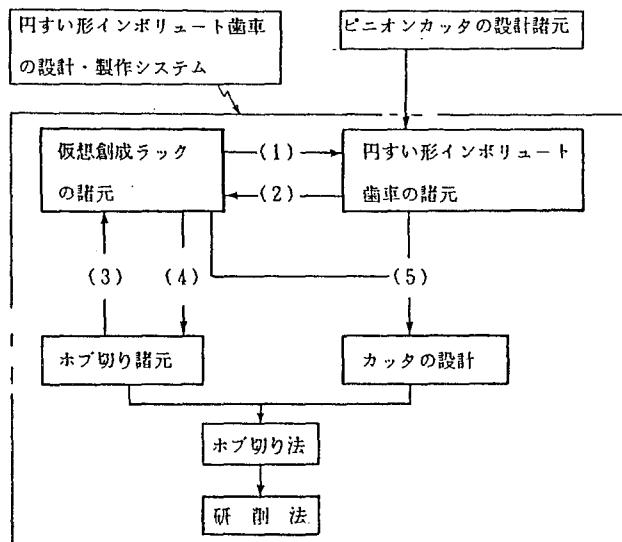


図2 インボリュートピニオンカッタの新しい設計・製作システム

結 論

円すい形インボリュート歯車の基本諸元を定義し、この歯車の形状の設計法を確立して、この歯車の実用的なホブ切り法と研削法を確立して、この歯車を自由に設計・製作できるようにした。また、応用として、インボリュートピニオンタッカの新しくかつ簡易な設計・製作システムを開発した。

以上、基礎理論から応用まで総合的に考察するとき、本論文が提示した円すい形インボリュート歯車の加工法とこれに基づくこの歯車の設計・製法は、円すい形インボリュート歯車の本格的な実用化に寄与するものと、結論できる。

参 考 文 献

- (1) Merritt, H. E., Gears(3rd. ed.), (1954), 165, Isaac Pitman and Sons.
- (2) Beam, A. S., Machine Design, 26-12(1954), 220.
- (3) 荒川, 機誌, 49-334 (昭21), 30.
- (4) 寺田, 日立評論, 34-9 (昭27), 73.
- (5) Purkiss, S. C., Machinery (Britain), 89(1956), 1413.
- (6) 谷・西村, 機械と工具, 1-2 (昭32), 27.
- (7) Bloomfield, Machine Design, 20-3(1948), 125.
- (8) Pfauter, H., Pfauter Eng. Letter, 30(1963), 1.
- (9) Thomas, A. K., Werkstatt und Betried, 97-2(1964), 129.

審 査 結 果 の 要 旨

円すい形の外観をもち、インボリュート曲面を歯面とする歯車は、この形状特性から生れる多くの利点を持つが、その特性を素材に与えるための工具の運動が解明されておらず、使用範囲が限定されていた。

本論文では、この歯車を創成するラックと歯車諸元との相互関係を究明することにより、歯車の設計法を確立し、次いでホブ盤および歯車研削盤による加工方法を開発し、これらの研究結果をピニオンカッタの製作に応用して、工業における価値をも確認している。

全文は緒論、本論 6 章および結論より成り、緒論では、本研究の位置づけと展開の方法について述べている。

第 1 章では、創成ラック諸元を与えて歯車諸元を求める計算法を得ており、実際の歯車の形状設計を可能にしている。また歯車諸元を与えてこれを創成する仮想ラック諸元を求める計算法を得ており、これによって、この歯車の具体的な加工方法を見出している。

第 2 章では、前章において解明された円すい形インボリュート歯車の基礎理論に基づいて、この歯車の一般的設計法を導き出している。

第 3 章および第 4 章では、ホブ盤による加工法について究明しており、一般のホブ切り理論を拡張して、円すい形インボリュート歯車の創成原理を解明している。第 3 章では、通常のホブ盤の素材軸をホブ軸の移動方向に対して傾斜させて取付けた切削装置、また第 4 章では、ホブ軸の送り運動に対してテーブルを切込み方向に移動させる切削装置による加工実験について述べている。このように自ら研究開発した装置によって加工の特性を把握し、さらにこれによって円すい形インボリュート歯車の実用性を確認していることは、優れた成果である。

第 5 章では、前章までに述べたホブ切り法を応用して 3 種類の歯面研削盤を研究開発して、それぞれの加工特性を確認するとともに高精度歯面研削円すい形インボリュート歯車の製作を可能にしている。

第 6 章では、第 5 章に述べた研削加工の成果を実際のピニオンカッタの製作に活用し、加工精度および加工効率において有効なことを確認している。

結論では、本論で得られた成果をまとめている。

以上要するに本論文は、円すい形インボリュート歯車の理論を解明し実用的な加工法を確立したもので、歯車工学ならびに精密工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。